



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**Efeitos de diferentes cenários de uso do solo sobre o regime  
hídrico na bacia do Ribeirão do Gama-DF**

**Raina Santos Ferreira**

MONOGRAFIA

BRASÍLIA

2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**Raina Santos Ferreira**

**Efeitos de diferentes cenários de uso do solo sobre o regime  
hídrico na bacia do Ribeirão do Gama-DF**

**Monografia de especialização em  
Geoprocessamento Ambiental apresentada a  
banca examinadora do Instituto de Geociências  
como exigência para a obtenção do título de  
especialista em Geoprocessamento**

**Aprovada em 09/03/18**

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (orientador) \_\_\_\_\_

Kassia Batista de Castro \_\_\_\_\_

Marina Rolim Bilich \_\_\_\_\_

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Se Santos Ferreira, Raina  
Efeitos de diferentes cenários de uso do solo sobre o  
regime hídrico na bacia do Ribeirão do Gama-DF / Raina  
Santos Ferreira; orientador Herrique Llacer Roig. --  
Brasília, 2018.  
31 p.

Monografia (Especialização - Geoprocessamento Ambiental)  
- Universidade de Brasília, 2018.

1. Análise modelo Swat. 2. Balanço hídrico. I. Llacer  
Roig, Herrique, orient. II. Título.

# **Efeitos de diferentes cenários de uso do solo sobre o regime hídrico na bacia do Ribeirão do Gama-DF**

**Raina Santos Ferreira<sup>1</sup>, Henrique Llacer Roig<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoprocessamento Ambiental, Asa Norte- Brasília – DF, Brasil.

[rainasanfer@gmail.com](mailto:rainasanfer@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor - Universidade de Brasília – UnB, Campus Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoprocessamento Ambiental, Asa Norte- Brasília – DF, Brasil.

[roig@unb.br](mailto:roig@unb.br)

## **Resumo**

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) na predição da vazão na bacia hidrográfica do ribeirão do Gama/DF utilizando dois mapas de uso de solo, um de 2016 e outro de 1953. O modelo SWAT foi calibrado automaticamente, com a utilização do SWATCUP, em relação à vazão média mensal e diária observada da estação fluviométrica da CAESB em um período de 9 anos (2004 a 2012) e depois validado com uma série independente de 2 anos (2013 e 2014). Foi realizada a análise de sensibilidade do modelo a 14 parâmetros escolhidos pelo grau de importância com relação a outros estudos feitos com o modelo no Distrito Federal. De acordo com os resultados da análise de sensibilidade, ESCO (fator de compensação de evaporação do solo) e GW\_DELAY (intervalo de tempo para a recarga do aquífero) demonstraram ser os parâmetros mais influentes na simulação da vazão. Índices de desempenho foram aplicados aos resultados do modelo gerando os seguintes números para a avaliação da vazão mensal no período de calibração: Nash-Sutcliffe (ENS)= 0,86 e para os resultados diários: Nash-Sutcliffe (ENS)= 0,53. Apesar de uma boa calibração do ano de 2016, a utilização da calibração feita de 2016 não se adequou de forma satisfatória para o ano de 1953. Os maiores problemas encontrados em ambos os anos no ciclo hidrológico foram a evapotranspiração e o escoamento superficial, o que gerou problema nos valores dos demais parâmetros.

## Introdução

A água é um recurso natural indispensável à manutenção da vida na Terra. Uma vez que apresenta um dos mais variados usos, como, por exemplo, na produção de alimentos, no abastecimento humano, no transporte, na energia, esta ganha uma importância ainda maior.

Devido à sua importância, vários estudos têm sido desenvolvidos em bacias hidrográficas com a finalidade de melhor compreender a dinâmica do balanço hídrico. O ciclo hidrológico interfere em diversos aspectos da vida humana, o mesmo é suscetível às modificações procedentes tanto de causas naturais, como das atividades antrópicas (Perazzoli, 2013).

Uma das principais consequências do uso e manejo do solo inadequado e a modificação na taxa de escoamento superficial e, conseqüentemente, nos processos erosivos, que, por sua vez, geram impactos negativos nos recursos hídricos (Mota *et al.*, 2008). O estudo e entendimento dos fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas de solo são fundamentais, pois servem como ponto de partida para elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, sem os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos (Branco, 1998).

Para a realização de um adequado gerenciamento da bacia hidrográfica, necessita-se de várias informações. Nesse sentido, a modelagem ambiental tem sido amplamente adotada com o intuito de se representar a dinâmica da água e do transporte de sedimentos e nutrientes nas bacias hidrográficas (Souza, 2016).

Pode-se usar a modelagem nos estudos de avaliação ambiental para conjecturar cenários futuros, estimar a magnitude das alterações a serem causadas pelas atividades estabelecidas ou outras a serem desenvolvidas. O uso de modelos matemáticos permite avaliar e compreender o comportamento dos processos, podendo, assim, ser usado de modo a contribuir para o planejamento do uso racional dos recursos naturais, fornecendo suporte à implementação de práticas conservacionistas e sustentáveis (Ferreira, 2016).

No sentido de se obter um gerenciamento racional dos recursos naturais, é extremamente vantajosa a utilização de modelagens. Segundo Neitsh *et al.* (2005), o *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) é um modelo matemático em escala de bacia hidrográfica desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados

Unidos (USDA), Serviço de Pesquisas Agrícolas (ARS), em conjunto com a Universidade A&M do Texas – TAMU. Este aplicativo foi criado para prever o impacto de práticas de manejo da terra e água, produção de sedimentos e agroquímicos em bacias hidrográficas complexas com variados solos e condições de uso da terra e que permite simular diferentes processos físicos na bacia hidrográfica (evaporação, Infiltração, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo) (Arnold et al., 2012). Segundo Srinivasan e Arnold (1994), o modelo SWAT é dinâmico e semidistribuído capaz de prever o efeito de diferentes usos do solo (cenários) sobre a qualidade e quantidade de água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas não instrumentadas.

O SWAT tem mostrado ser uma ferramenta eficiente para a avaliação dos recursos hídricos. No Brasil, o modelo vem sendo amplamente empregado como observado nos trabalhos de Durães (2010), Rocha et al. (2010) e Lelis et al. (2012), que foram estudos feitos na região Sudeste, os trabalhos de Lino et al. (2009), Garbossa et al., (2010) e Bumuná et al. (2013), que foram pesquisas feitas na região Sul e os trabalhos Ferrigo (2014), Castro (2013), Salles (2012) e Sarmento (2010), que foram estudos feitos na região Centro-Oeste.

Diante do exposto, este trabalho tem por finalidade comparar dois diferentes cenários de uso do solo para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, afluente da bacia do lago Paranoá-DF e analisar os efeitos dessas mudanças no regime hídrico utilizando apenas a calibração da vazão.

## **Área de Estudo**

A área de estudo deste trabalho é a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, que ocupa aproximadamente 146,52 km<sup>2</sup>. Localizada a sudoeste do centro de Brasília, estando situada entre os paralelos 15°50'16" latitude S e os meridianos 47° 50'48" longitude WGr. A bacia do Gama está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Gama e Cabeça do Veado.

Parte da bacia do Gama também é ocupada por unidades de conservação, sendo elas a Reserva Ecológica e Científica da Fazenda Água Limpa - Universidade de Brasília; a Estação Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; e a Reserva Biológica do Jardim Botânico. Além das Áreas de Proteção Ambiental, a bacia dispõe de áreas de ocupação urbana: Núcleo Bandeirante, Lago Sul e Park Way, com diferentes graus de consolidação urbana; áreas agrícolas: Núcleo Rural Vargem Bonita e Núcleo Rural Córrego Onça.

Como relação a alguns dados morfométricos, a bacia do Gama ocupa aproximadamente 146,52 km<sup>2</sup>, com extensão do córrego principal de 22,60Km. A bacia estudada é de sexta ordem (segundo a classificação de Strahler,), possuindo uma densidade de drenagem de 1km/km<sup>2</sup> e dispõe de uma densidade de canais de 3,39 km com 497 canais, sendo a extensão do seu canal principal de 22,32 km com um índice de sinuosidade de 1,25, ou seja, tem uma tendência mais retilínea. O índice de circularidade da bacia é de 0,34, o que caracteriza a forma de uma bacia alongada, com nível moderado de escoamento, não contribuindo, assim, na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas (Ferreira, 2016).

A bacia encontra-se inserida em dois compartimentos geomorfológicos distintos, assim designados por Novaes Pinto (1993): Encostas das chapadas da contagem e de Brasília e depressão do Paranoá. A Depressão do Paranoá é caracterizada com inclinações e dissecções vindo do alto das Chapadas da Contagem e de Brasília, indo em direção dos vales, com declividades variando de 20% a 50%, próximas a algumas nascentes, como por exemplo, o córrego Capetinga. Ao sul e sudoeste da bacia estão áreas localizadas nas chapadas que tem o relevo plano com suaves ondulações e declividades de 10% a 20% (Novaes Pinto, 1987). Nas áreas de relevo plano a suavemente ondulado, a densidade de drenagem é baixa em função da menor dissecção, onde predominam os Latossolos. Por outro lado, as bordas das chapadas apresentam dissecções pronunciadas, o que caracteriza uma situação de instabilidade devido à baixa relação pedogênese/erosão dos solos (Resende et al., 1995).

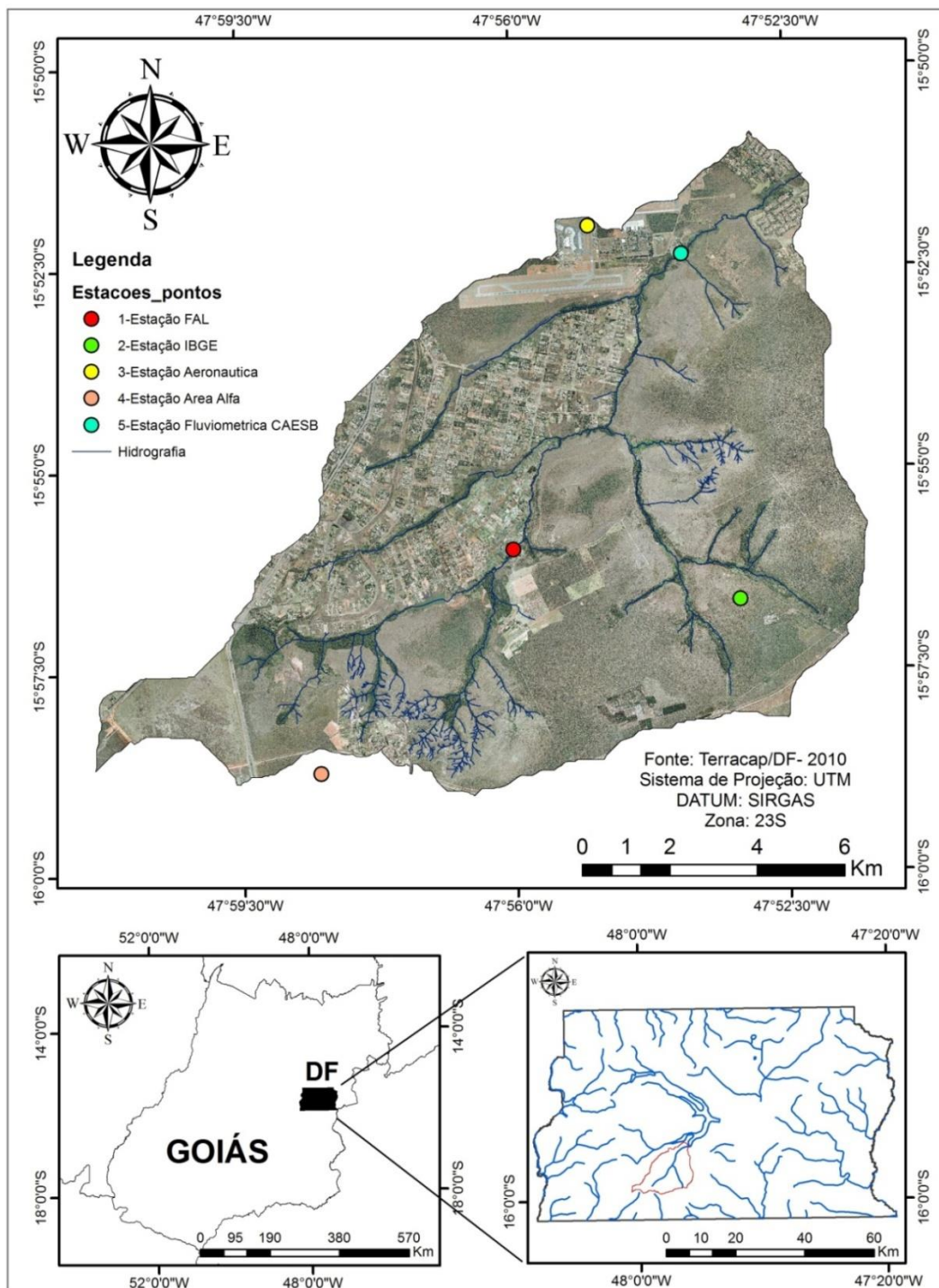


Figura 1 Mapa de localização da bacia do Gama e as estações usadas. No topo, carta imagem da bacia do Gama; no canto inferior direito, Bacia do Gama no contexto do Lago Paranoá e do DF; no canto inferior esquerdo, DF no contexto do estado de Goiás.

## Materiais e Método

Para a realização da modelagem foi utilizado o SWAT versão 2012 e, para a calibração do modelo, foi usado o SWAT-CUP 5.1.6.2, (*SWAT Calibration and Uncertainty Programs*).



Para a utilização do modelo hidrológico SWAT são necessários dados de entrada, os quais são correlacionados com características físicas da bacia hidrográfica, tais como: mapa de classe de solo, uso do solo, Modelo Digital de Elevação (MDE), séries temporais de precipitação, radiação solar, velocidade do vento, evaporação, temperatura máxima e mínima do ar, entre outros (Arnold et al., 2012). Na figura 2, apresenta-se o fluxograma geral da execução do modelo SWAT.

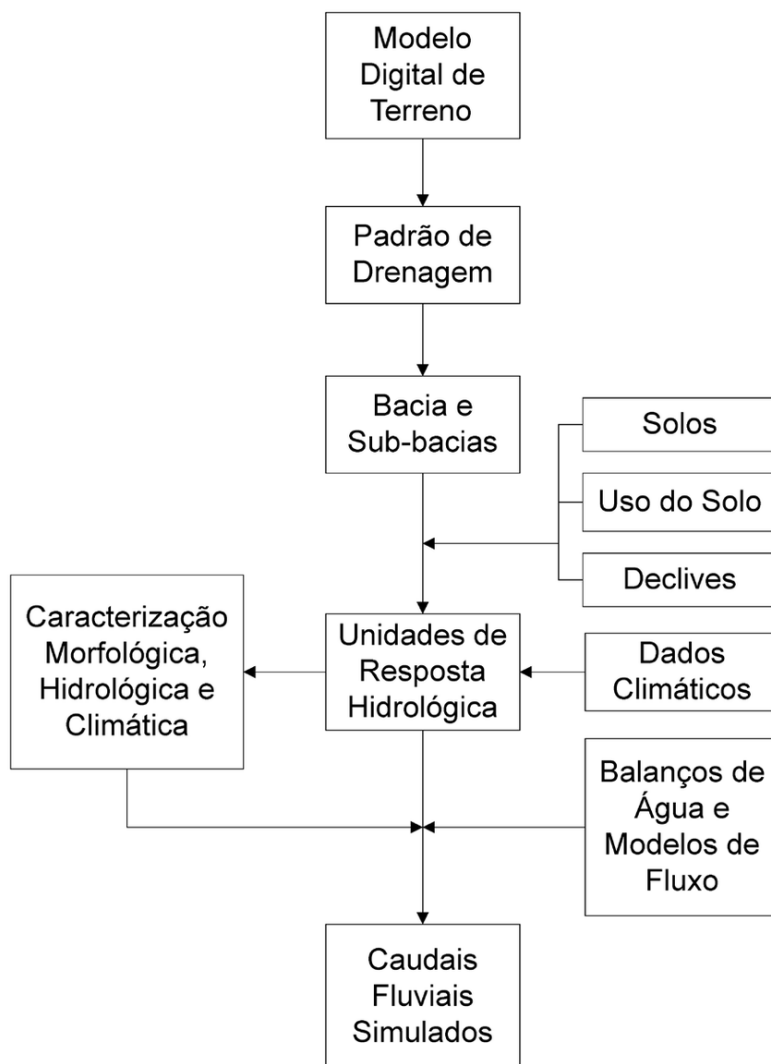
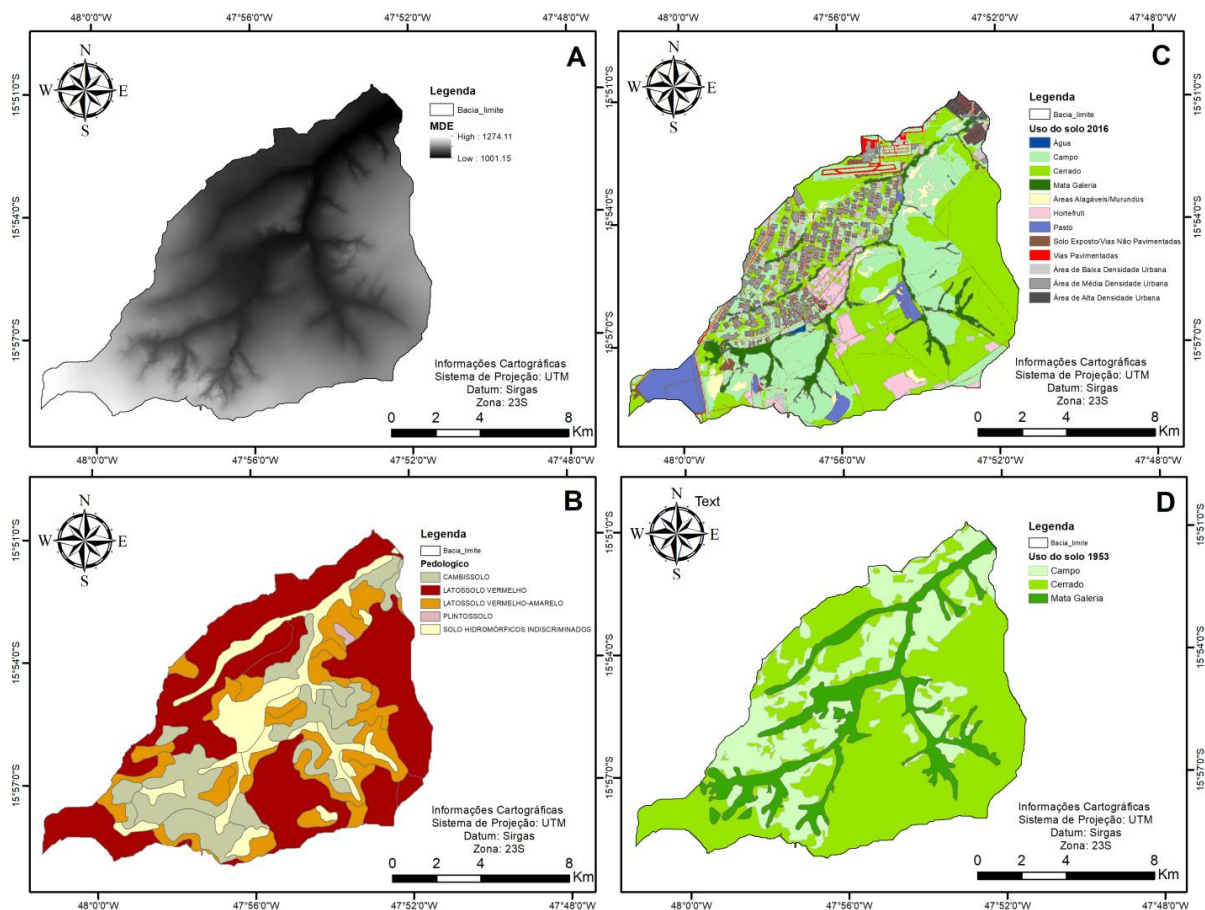


Figura 2. Fluxograma SWAT (Alencão et al., 2015).

O modelo digital de elevação (figura 3a) é o primeiro dado de entrada requerido pelo modelo e ele foi gerado a partir da altimetria, pontos cotados e hidrografia da Terracap de 2010 na escala de 1:10.000 (Terracap, 2010). O modelo de elevação foi feito através da ferramenta *Topo To Raster* e também foi utilizado a ferramenta *Fill Sink* do *ArchHydro* para o preenchimento das depressões e retirado os picos do MDE.

O mapa de solo foi elaborado com escala de 1:100.000 realizado pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) no ano de 2004 (figura 3b) (EMBRAPA, 2004). O SWAT requer uma série de dados acerca das características físicas dos solos, como o número de camadas do solo, grupo hidrológico, e informações por camada de solo, como capacidade de água disponível, condutividade hidráulica saturada, porosidade, entre outras informações. Todos esses parâmetros foram retirados do estudo feito por Lima et al. (2013) para a realização deste trabalho, exceto os dados de porcentagem de silte, argila, areia e cascalho do solo, pois foi observado um erro nos percentuais dos dados. Esses dados foram então extraídos dos trabalhos de Barbosa (2009) e Rodolfo Junior (2015) realizados na bacia do ribeirão do Gama. Importante lembrar que no modelo SWAT só é possível escolher o grupo hidrológico do solo (A, B, C e D), não sendo possível mudar as características de cada grupo.

Nesse estudo foram utilizados dois períodos de uso de solo, ano de 2016 e o ano de 1953. Para composição do mapa de uso do solo foi utilizada a ortofoto de 2016 com a resolução espacial de 0,75 metros do satélite Pleiades digitalizado manualmente por meio do software ArcGis 10.3.1, na escala de 1:10.000 (figura 3c). O mapa de uso do solo foi classificado em 12 classes: Cerrado (38,31%), Campo (31,01%), Mata Galeria (5,39%), Murundus/Áreas Alagáveis (2,59%), Pasto (4,38%), Hortefruti (4,35%), Solo Exposto/Vias não Pavimentadas (1,48%), Vias Pavimentadas (2,45%), Área de Baixa Densidade Urbana (1,99%), Área de Média Densidade Urbana (6,85%), Área de Alta Densidade Urbana (1,04%) e Água (0,16%). A escolha das classificações utilizada neste trabalho foi feita com base da compatibilidade existente no uso do solo da bacia estudado com o banco de dado do modelo SWAT. E para o ano de 1953, foi utilizado o mapeamento feito pela UNESCO na escala de 1:100.000 (figura 3d). O mapa de uso do solo foi classificado em 4 classes: Campo (26,30%), Cerrado (57,09%), Mata galeria (16,51%) e Água (0,10%).



**Figura 3 a) modelo de elevação da bacia do Gama; b) mapa pedológico da bacia do Gama (EMBRAPA, 2004); Mapa de uso do solo de 2016 da bacia do Gama; d) mapa de uso do solo de 1953 da bacia do Gama (Unesco).**

A escolha das classificações utilizada neste trabalho foi feita com base da compatibilidade existente no uso do solo da bacia estudado com o banco de dado do modelo SWAT. Foram feitas algumas adaptação dos tipos de usos empregados na bacia com as classes presentes no banco de dados do SWAT. As principais adaptações foram realizadas nos valores de CN2 (Curva Número na condição II), em que foi feito uma análise dos valores disponíveis na própria base de dados do SWAT e os encontrados nos estudos de Satori (2004), Salles (2012) e Castro (2013).

As HRU's são unidades que representam combinações de características comuns de solo, uso de solo e declividade dentro de cada sub-bacia. Antes da criação das HRU's, o usuário pode definir a quantidade de classes (no máximo cinco classes) de declividade e o valor de intervalo de cada classe. Para a bacia do Gama foram adotadas três classes de declividade: 0% a 8%, de 8% a 20% e de 20% até o valor limite (999%).

O mapa de HRU's pode ser alterado retirando-se as combinações de uso do solo, tipo de solo e declividade que representam frações insignificantes da bacia, e sub-bacias dividindo as classes de uso em outras classes. O modelo também possui três opções para a geração das HRU's. Para este estudo, optou-se pela definição de múltiplas HRU's, porém sem eliminar nenhuma combinação possível em nenhum dos níveis de sensibilidade.

Os dados meteorológicos (umidade relativa, radiação, velocidade do vento, pluviosidade e temperatura máxima e mínima) foram obtidos a partir das estações meteorológicas da Fazenda Água Limpa, IBGE (Instituto de geografia e estatística) e ICEA (Instituto de controlo do espaço aéreo), que se encontram dentro da bacia estudada. Como as estações meteorológicas do ICEA e do IBGE não trabalham com dados de radiação solar, foi utilizada a série da estação da FAL para completar os dados. Também foi utilizada a estação Área Alfa da CAEB para dados apenas referentes à precipitação (figura 1).

Os dados de vazão foram obtidos junto a CAESB e são dados diários do período de 2001 a 2014. Os dados de vazão não são inseridos no SWAT, mas apenas para calibrar o modelo, que no caso desse estudo foi feito no SWAT CUP (calibração automática). A simulação com o modelo SWAT foi realizada para o período de 2001 a 2014 (14 anos de dados), sendo o ano de 2001 a 2004 utilizados para o aquecimento do modelo, 2005 a 2012 para a calibração e 2013 e 2014 para a validação.

## **Resultados**

Neste estudo serão utilizados dois mapas de uso do solo distintos, os de 1953 e 2016. Como não foi possível conseguir os dados de vazão e os meteorológicos do ano de 1953, serão utilizados os parâmetros e os valores de calibração de 2016 para o mapa do ano de 1953 também. Logo os dados referentes ao Nash-Sutcliffe de vazão de 1953 são irrelevantes para esse trabalho, pois não é comparar a vazão da época com a vazão estimada pelo modelo SWAT. Sendo possível, desse modo, apenas fazer análises do hidrograma de 2016. No entanto, serão utilizados os ciclos hidrológicos dos dois anos utilizados neste trabalho.

As figuras 4 e 5 mostram a comparação da vazão média mensal e diária, respectivamente, observada na estação fluviométrica da CAESB e a vazão média mensal e diária simulada no modelo SWAT, no período de 01/01/2004 e 31/12/2012 sem calibração.

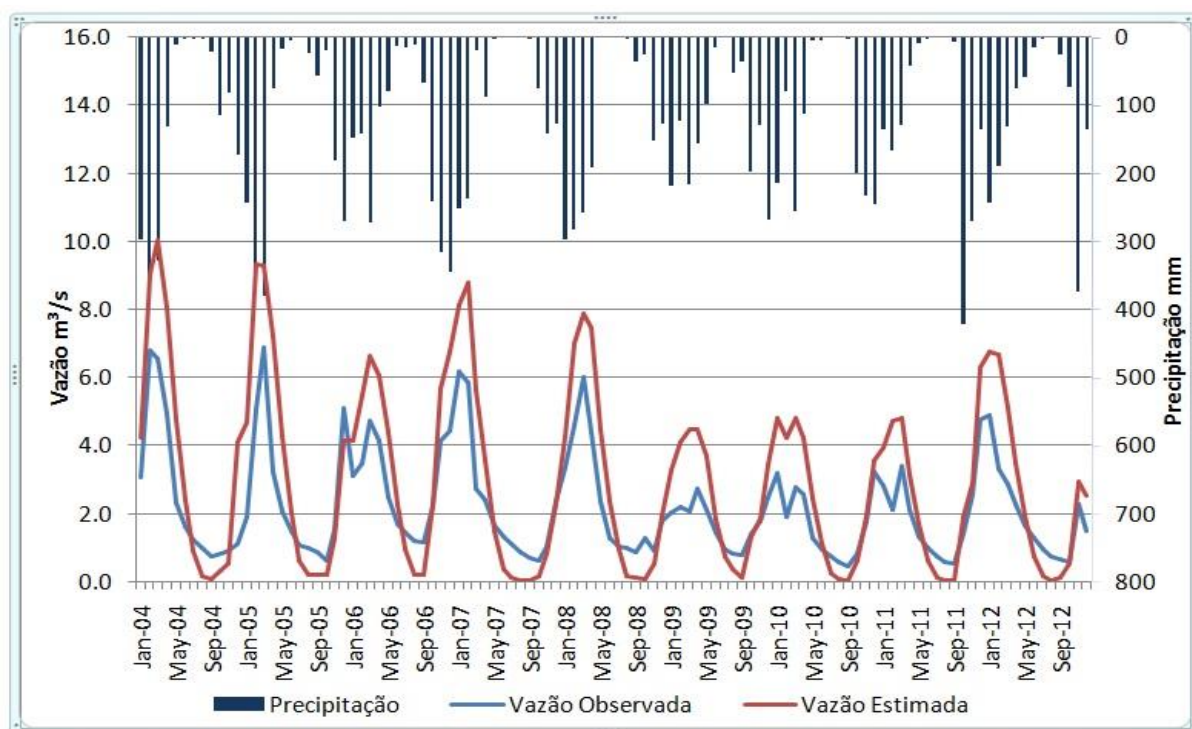


Figura 4 Comparação entre vazão simulada pelo modelo SWAT sem calibração e a vazão observada mensal.

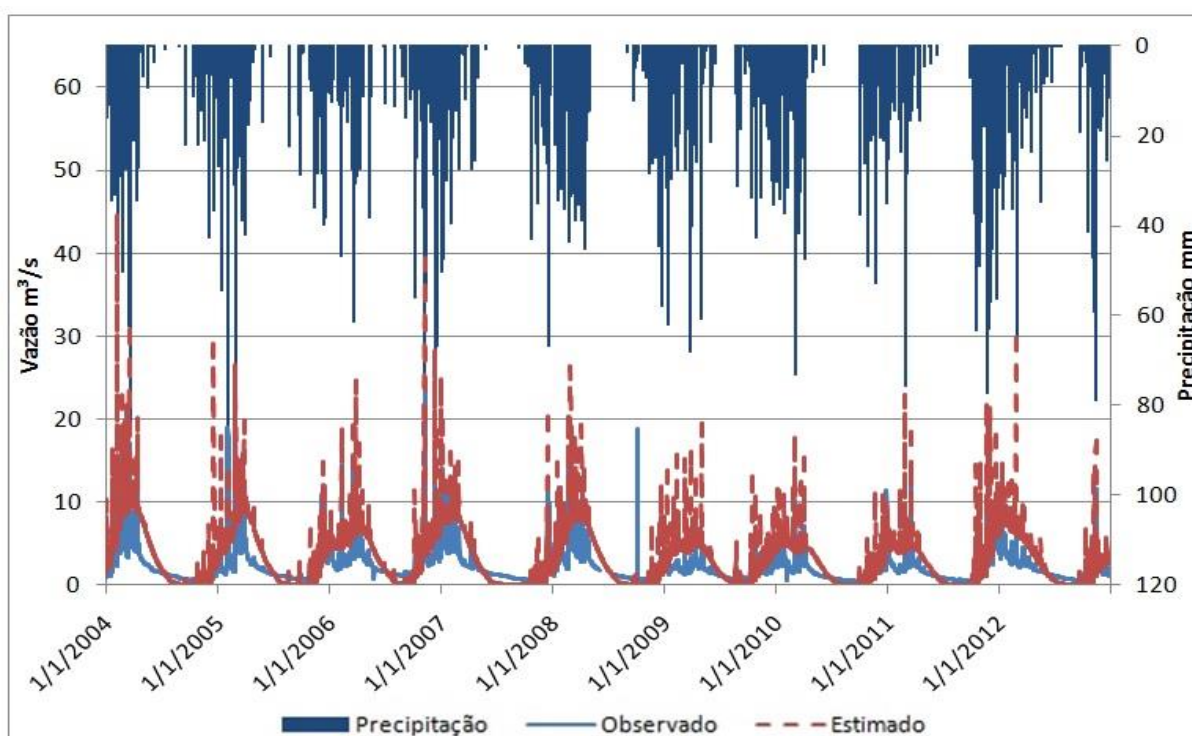


Figura 5 Comparação entre vazão simulada pelo modelo SWAT sem calibração e a vazão observada diária.

Visualmente já é possível observar que o modelo SWAT não conseguiu simular a vazão da bacia estudada de forma satisfatória. Percebe-se, pela análise das figuras acima, que há uma tendência do modelo superestimar as vazões nos

períodos de chuva e subestimar na época de estiagem. Esse comportamento foi relatado em outros estudos feitos no Cerrado com o SWAT, como os trabalhos de Salles (2012), Castro (2013), Carvalho (2014) e Ferrigo (2014).

Na figura 4, os picos de vazão média mensal foram superestimados pelo modelo em quase duas vezes, apresentando valores máximos de até  $10.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , onde os picos máximos observados não ultrapassam  $6.89 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Já o escoamento de base apresenta em seu menor valor  $0,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto a vazão mínima observada no mesmo período apresenta um valor de  $0,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , ou seja, quase vinte e cinco vezes maior. Nota-se, assim, um erro mais expressivo nas vazões mais baixas (nos períodos de estiagem), o que evidencia a dificuldade do modelo de simular o movimento da água subterrânea.

Já na figura 5 tratando-se dos dados diários, os picos de vazão também foram superestimados pelo modelo em até três vezes, apresentando valores máximos de até  $44,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e os picos máximos observados não ultrapassam  $24,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Obteve-se, para essa primeira simulação, um valor da função objetivo de Nash-Sutcliffe (ENS) de 0.033 para a simulação mensal e um ENS -1.50 para a simulação diária. Os resultados do ENS indicam que o SWAT não foi capaz de simular satisfatoriamente a vazão quando utilizada sem calibração.

Com base na análise dos valores do modelo SWAT e do trabalho de Mesquita (2015) realizado na bacia do ribeirão do Gama, constatou-se que a origem do problema do comportamento da vazão, é gerada pela superestimativa do escoamento superficial. Mesquita (2015), constatou com base em monitoramento direto de escoamento em microplots em 5 diferentes usos, que o escoamento só ultrapassou os 10% quando medido diretamente no solos exposto. A média para condições vegetadas foi em torno de 3% de escoamento. Lima (2010) corrobora essa informação (tabela 1), constatando a partir de estudos da hidrógrafa, que o escoamento superficial não deve ultrapassar 3% do total precipitado. Na simulação sem calibração realizada no presente estudo, o volume do escoamento representou 12% (figura 5) do total precipitado.

**Tabela 1 Resultado do Balanço hídrico anual efetuados em pequenas bacias não urbanizadas do Distrito Federal (DF). (Modificado de Lima, 2010).**

Referência	Silva e Oliveira (1999)		Lima (2000)		Lima (2010)	
Ano hidrológico	1996/1997		1998/1999		2007/2008	
Bacia hidrográfica	Capetinga, DF		Capetinga, DF		Alto Jardim, DF	
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	10,00		10,00		104,86	
Variável	mm.ano <sup>-1</sup>	%	mm.ano <sup>-1</sup>	%	mm.ano <sup>-1</sup>	%
Precipitação	1.744,00	100,00	1.058,73	100,00	1.100,00	100,00
Escoamento superficial	52,50	3,01	15,08	1,42	32,33	2,94
Escoamento de base	444,00	25,46	284,39	26,86	289,89	26,35
Escoamento total	496,50	28,47	299,47	28,29	322,22	29,29
Variação da lâmina de água no solo	0,00*	0,00*	-71,77	-6,78	0,00*	0,00*
Evapotranspiração real	1.247,50	71,53	831,03	78,49	777,78	70,71

\* valor não-medido.

No ano de 2016, O CN médio para a bacia ficou em torno de 51,35. Com base nos estudos da tabela 1, pode-se dizer que o modelo superestimou o fluxo de base e o escoamento superficial pra as condições de cerrado. E o CN médio no ano de 1953 foi de 41,49. Mesmo ainda não calibrando o modelo, o escoamento superficial ficou em torno de 4,3%. O maior problema encontrado no mapa de 1953, sem a calibração ainda, foi o baixo valor da evaporação, sendo apenas de 22,6%, o que sobrecarregou os valores do fluxo de base e percolação, pois pouquíssimo foi evaporado (não saiu do sistema).

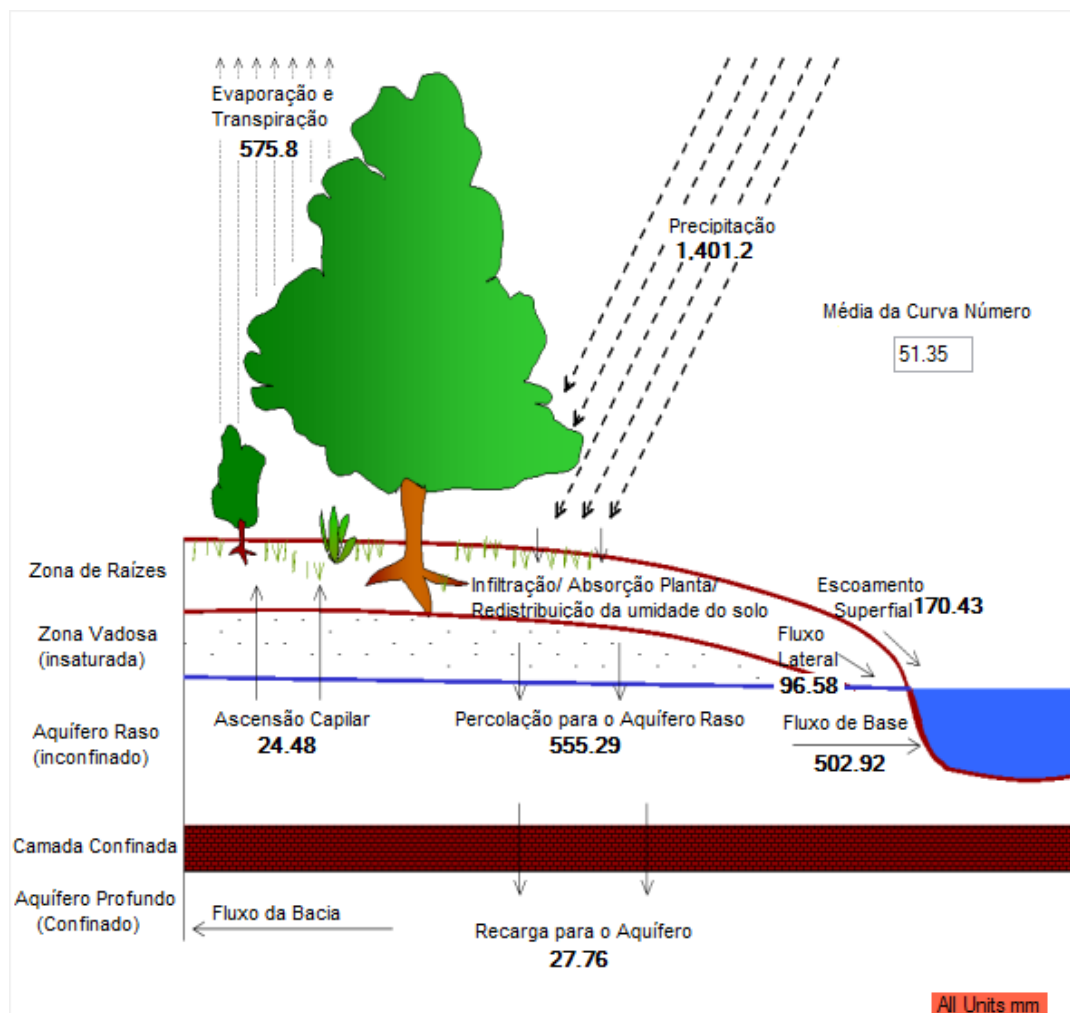


Figura 6 Balanço hídrico simulado pelo SWAT para o período de 2004 a 2012 (dados não calibrados) de 2016.



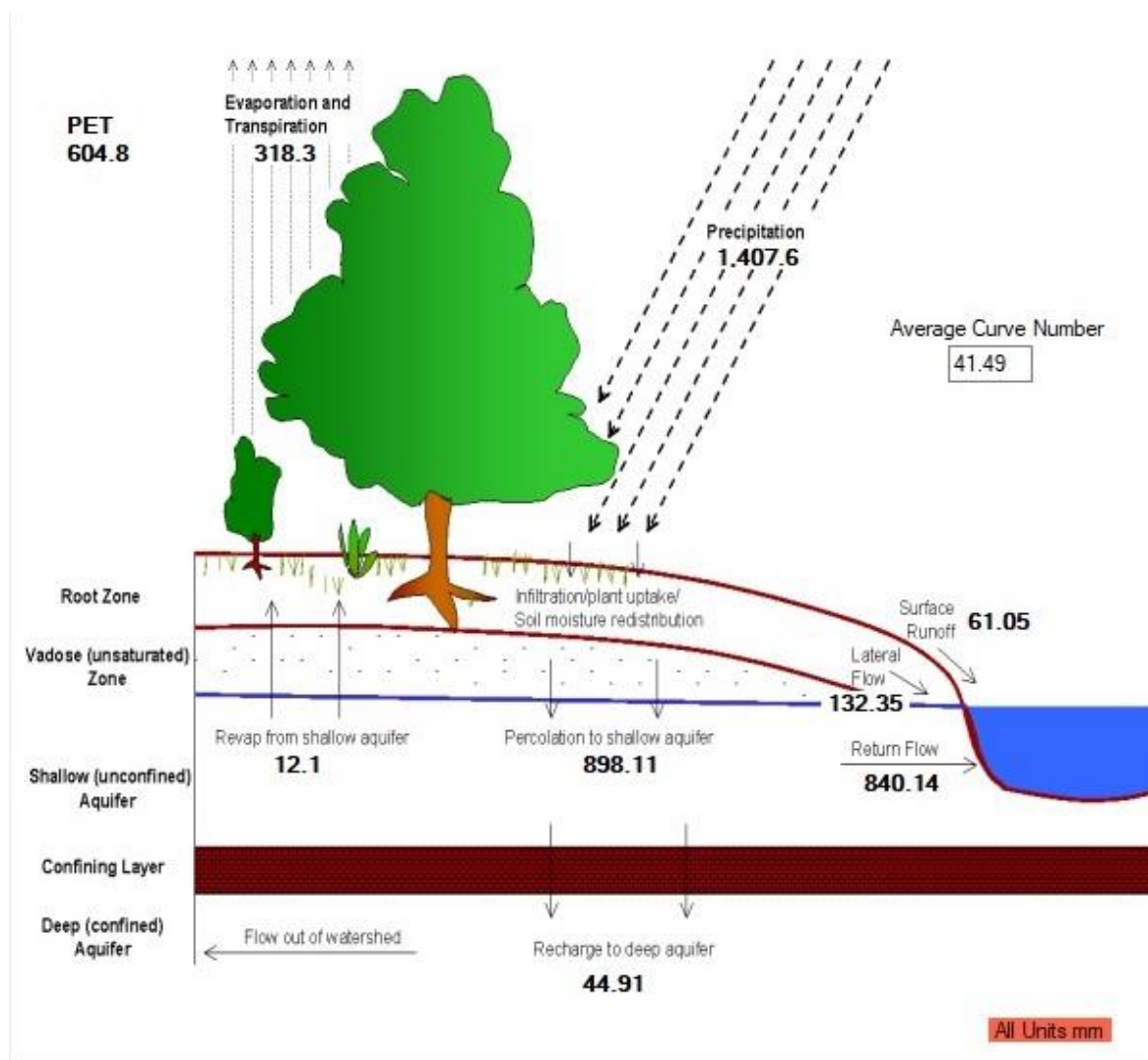


Figura 7 Balanço hídrico simulado pelo SWAT para o período de 2004 a 2012 (dados não calibrados) de 1953.

Segue abaixo a comparação dos valores do ciclo hidrológico de 1953 e 2016 sem calibração (valores em mm):

Tabela 2 Valores de comparação de 1953 e 2016 do ciclo hidrológico (valores em mm).

Valores	1953	2016
Evapotranspiração	318,3	575,8
Escoamento superficial	61,05	170,43
Fluxo Lateral	132,35	96,58
Percolação	898,11	555,29
Fluxo de Base	840,14	502,92
Recarga de Aquífero	44,91	27,76
Ascensão Capilar	12,1	24,48

Para racionalizar o processo de calibração, foi feita uma pesquisa com base em outros trabalhos feitos no Cerrado com o modelo SWAT com objetivo de identificar quais parâmetros são mais comumente apontados como sendo de grande influência.

Após a revisão da literatura, foram extraídos de alguns trabalhos os parâmetros mais sensíveis, para assim, facilitar a próxima etapa do trabalho, a de calibração. Dessa forma, para esse estudo, foram selecionados 14 parâmetros: ALPHA\_BF, CH\_K2, CH\_N2, CN2, DEEPST, ESCO, GW\_DELAY, GWQMN, GW\_REVAP, REVAPMN, SOL\_AWC, SOL\_BD, SHALLST e SURLAG. A tabela 3 traz informações específicas sobre a calibração de cada um deles.

**Tabela 3 Parâmetros mais sensíveis para a simulação do SWAT feitas em Bacias do Distrito Federal, bioma Cerrado.**

<b>Parâmetros mais sensíveis</b>	<b>Autor</b>	<b>Data</b>
SURLAG, GWQMN, CN2, GW_REVAP, RCHRG_DP, SOL_K	Sarmento	2010
CN2, ALPHA_BF, CH_K2, ESCO, GW_DELAY, CH_N2	Strauch	2011
ESCO, ALPHA_BF, GW_DELAY, SOL_Z, CHK2, BLAI, SOL_AWC, CN2, SOL_K, GWQMN, SLOPE	Ferrigo	2011
ALPHA_BF, CN2, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, ESCO, SLSUBBSN	Ferrigo	2012
ESCO, ALPHA_BF, GW_QMN, SURLAG, GWREVAP, CN2, CH_K2, RCHRGH_DP, CH_N2, REVAPMN	Salles	2012
SURLAG, ALPHA_BF, CN2, GWQMN, SOL_K, CH_K2, SLOPE, SLSUBBSN, BLAI E SOL_ALB	Castro	2013
CN2, SOL_K, ESCO, GW_DELAY, SURLAG, SOL_AWC, SHALLST, CH_N2, ALPHA_BF, GWQMN, GWHT, RCHRGH_DP, GW_REVAP	Carvalho	2014
SOL_K, CN2, SOL_AWC, SHALLST, ANION_EXCL, REVAPMN, ESCO, ALPHA_BF, SOL_BD, DEEPST, GW_REVAP, GWHT, GWQMN, GW_DELAY	Ferrigo	2014

Ao contrário do que era feito em versões antigas do SWAT, o SWATCUP executa as etapas de calibração e análise de sensibilidade de forma conjunta e possui várias opções de algoritmos de otimização. A calibração no âmbito deste trabalho foi feita de forma automática, com utilização do *software* SWATCUP 5.1.6.2

No presente estudo foi utilizado o algoritmo SUFI2. Nesse algoritmo, a calibração ocorre através de uma sistemática seleção de intervalos de valores de parâmetros que, a cada iteração, são testados a fim de estreitar este intervalo, até que seja encontrado o melhor intervalo de dados de confiança (KUWAJIMA, 2012).

O SWATCUP fornece uma lista completa com 651 parâmetros, em que o usuário pode escolher quais deles quer alterar. Importante dizer que o SWATCUP possui em "*Absolute Swat Values*" com todos os 651 parâmetros listados com suas respectivas definições e os seus intervalos máximo e mínimo (que podem ser alterados pelo usuário de acordo com as características da área de estudo). Neste trabalho foram selecionados 14 parâmetros, onde a delimitação dos intervalos foi determinada de acordo com estudos de campo e valores disponíveis e retratados na literatura (tabela ).

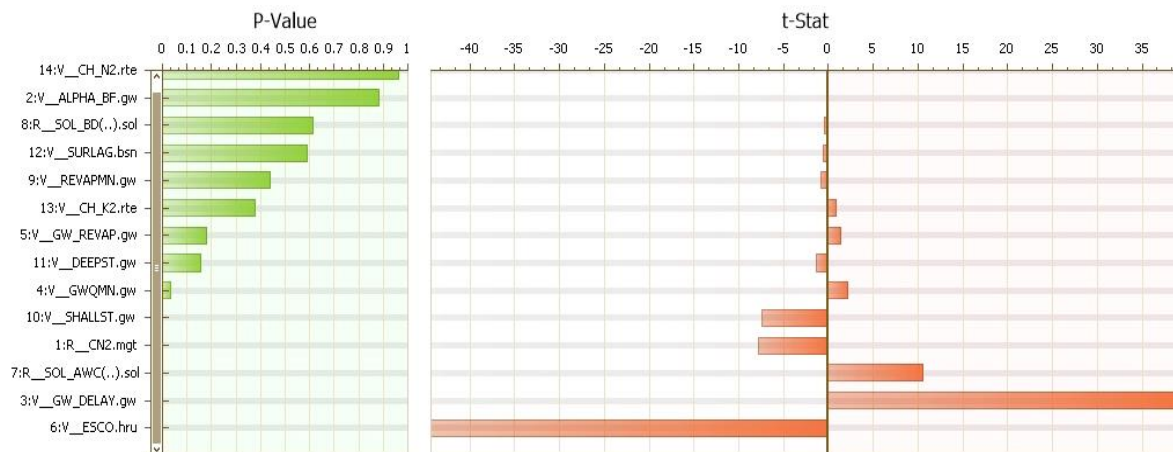
Os limites dos intervalos são de suma importância, pois evitam que haja distorções modelo e que o resultado final da modelagem seja fictício e incompatíveis com a realidade da área de estudo.

**Table 4 Detalhamento da alteração dos valores dos parâmetros no processo de calibração da bacia do Gama.**

Parâmetro	Descrição	Unidade	Método	Intervalo	
				Mín	Máx
ALPHA_BF	Constante de recessão do fluxo de base	dias	Substituição	0,1	0,8
CH_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal principal	mm/hr	Substituição	0	2,5
CH_N2	Coeficiente de rugosidade de Manning	$s\ m^{-1/3}$	Substituição	0,025	0,050
CN2	Curva Número na condição II	adimensional	Multiplicação	-0,3	0,2
DEEPST	Altura inicial da água no aquífero profundo	mm	Substituição	0.0	5000
ESCO	Fator de compensação da evaporação do solo	adimensional	Substituição	0,4	1,0
GW_DELAY	intervalo de tempo para a recarga do aquífero	dias	Substituição	30	120

GWQMN	Profundidade limite do nível de água acima do qual o fluxo de base é liberado pelo canal	mm	Substituição	0,0	1500
GW_REVAP	Coeficiente "revap" de água subterrânea	adimensional	Substituição	0,02	0,1
REVAPMN	Profundidade em aquífero raso para que aconteça o "revap"	mm	Substituição	0,0	500
SOL_AWC	Capacidade de água disponível na camada de solo	mm/mm	Multiplicação	-0,1	0,5
SOL_BD	Densidade aparente do solo	g/cm <sup>3</sup>	Multiplicação	-0,6	-0,4
SHALLST	Altura inicial da água do aquífero raso	mm	Substituição	500	5000
SURLAG	Coeficiente de atraso do escoamento superficial	dias	Substituição	0,5	5,0

O resultado da análise de sensibilidade global está representado na figura 8. O *t-Stat* demonstra o grau da sensibilidade dos parâmetros, onde, quanto maior for o seu valor absoluto, mais sensível é o parâmetro. Já o *P-Value*, indica a significância da sensibilidade dos parâmetros, em que valores próximos de zero apresentam maior significância na modelagem (Abbaspour, 2015). É possível notar que os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade foram (por ordem de sensibilidade): ESCO, GW\_DEALY, SOL\_AWC, CN2, SHALLST, GWQMN, DEEPST, GW\_REVAP, CH\_K2, REVAPMN, SURLAG, SOL\_BD, ALPHA\_BF e CH\_N2.



**Figure 8 Resultados da análise de sensibilidade global para a variável vazão.**

Pela análise dos gráficos (Figura 8), percebe-se que os parâmetros ESCO e GW\_DELAY tiveram comportamento amplamente dominante no processo.

Na calibração foram feitas 1000 interações dentro dos intervalos adotados na análise de sensibilidade. A calibração foi feita tanto diariamente, em que foram disponibilizados 3248 dados diários quando mensalmente, 108 médias mensais. Os valores dos parâmetros que apresentaram o melhor ajuste estão representados na tabela 5.

**Tabela5 Parâmetros, métodos e valores da melhor da calibração encontrada.**

Parâmetro	Método	Valor da Melhor Calibração
ESCO	Substituição	0.427182
GW_DELAY	Substituição	107.595833
SOL_AWC	Multiplicação	0.487380
CN2	Multiplicação	-0.283450
SHALLST	Substituição	522.218018
GWQMN	Substituição	1004.201355
DEEPST	Substituição	2111.177979
GW_REVAP	Substituição	0.087727
CH_K2	Substituição	2.016220
REVAPMN	Substituição	230.748001
SURLAG	Substituição	2.482100
SOL_BD	Multiplicação	-0.523559
ALPHA_BF	Substituição	0.336332
CH_N2	Substituição	0.030786

Nas Figuras 9 e 10, são apresentados os hidrogramas observado e simulado pelo SWAT após a calibração automática dos parâmetros, tanto diariamente quanto

mensalmente. A calibração mensal apresentou um NS de 0,86 e a calibração diária apresentou um NS de 0,53.

Com relação à calibração mensal (figura 9), percebe-se uma grande melhora nos picos, pois houve uma redução considerável da vazão nos períodos chuvosos quando comparados a primeira simulação (sem calibração). Também se pode observar que houve uma melhora significativa do ajuste do fluxo de base, principalmente, no período de seca onde os dados simulados chegavam bem próximos de zero. Já no hidrograma da figura 10 (dados diários), é possível notar que o modelo não foi capaz de representar diversos picos de vazão observados durante o período chuvoso, e algumas vezes simulou picos maiores que os registrados, porém também houve uma melhora do ajuste do fluxo de base no período de seca e no período da chuva o modelo não superestimou tanto a vazão, quando comparado com o não calibrado. Após a calibração do modelo, os valores mensais mais altos apresentados pela vazão observada chegam a  $6,89 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e para vazão estimada pelo modelo atingem  $6,91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto que o valor para o mesmo período sem a calibração era de  $10,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . No período de estiagem, o modelo conseguiu representar de forma bem mais satisfatória as vazões. Os valores mais baixos apresentados pela vazão observada chegam a  $0,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e para vazão estimada pelo modelo chegam a  $0,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto que o valor para o mesmo período sem a calibração era de  $0,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Com relação aos dados diários (figura 10), os valores mais altos apresentados pela vazão observada chegam a  $24,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e a vazão estimada pelo modelo atingem  $38,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto para o mesmo período sem calibração os valores chegavam a  $44,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Assim como na calibração mensal, o modelo conseguiu representar de forma mais satisfatória as vazões no período de estiagem, pois houve uma melhora no ajuste do fluxo de base. Os valores mais baixos apresentados pela vazão observada chegam a  $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e para vazão estimada pelo modelo chegam a  $0,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , enquanto que o valor para o mesmo período sem a calibração era de  $0,016 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

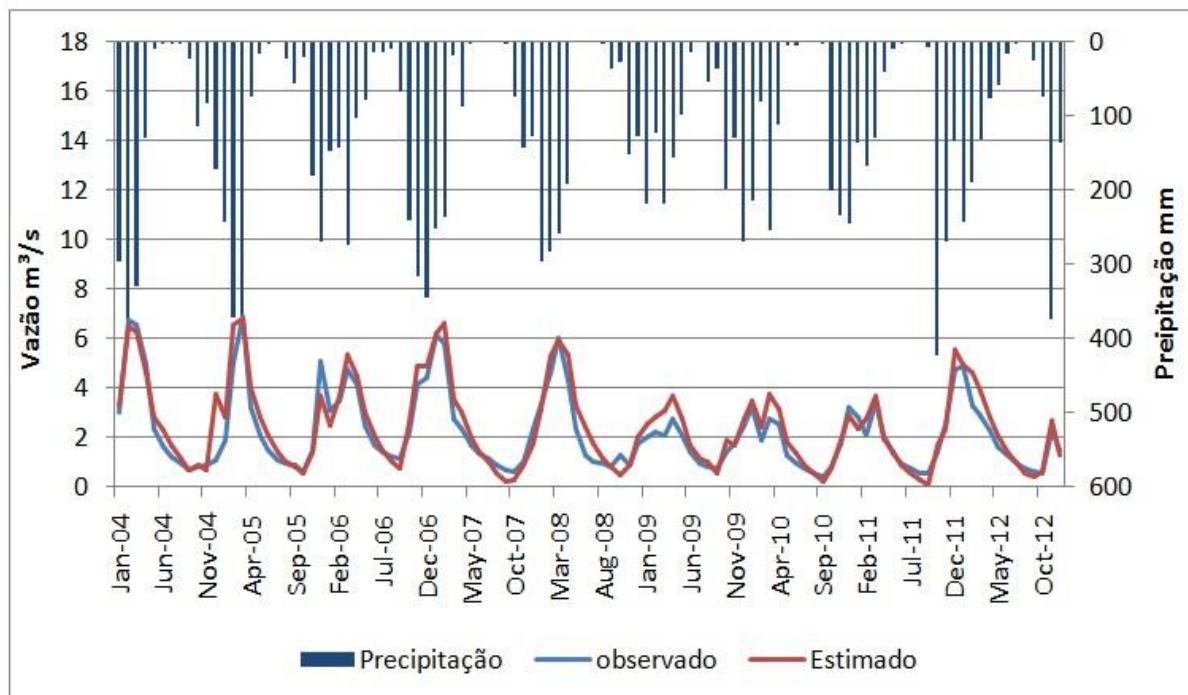


Figura 9 Comparação entre vazão simulada pelo modelo SWAT e a vazão observada mensal após a calibração.

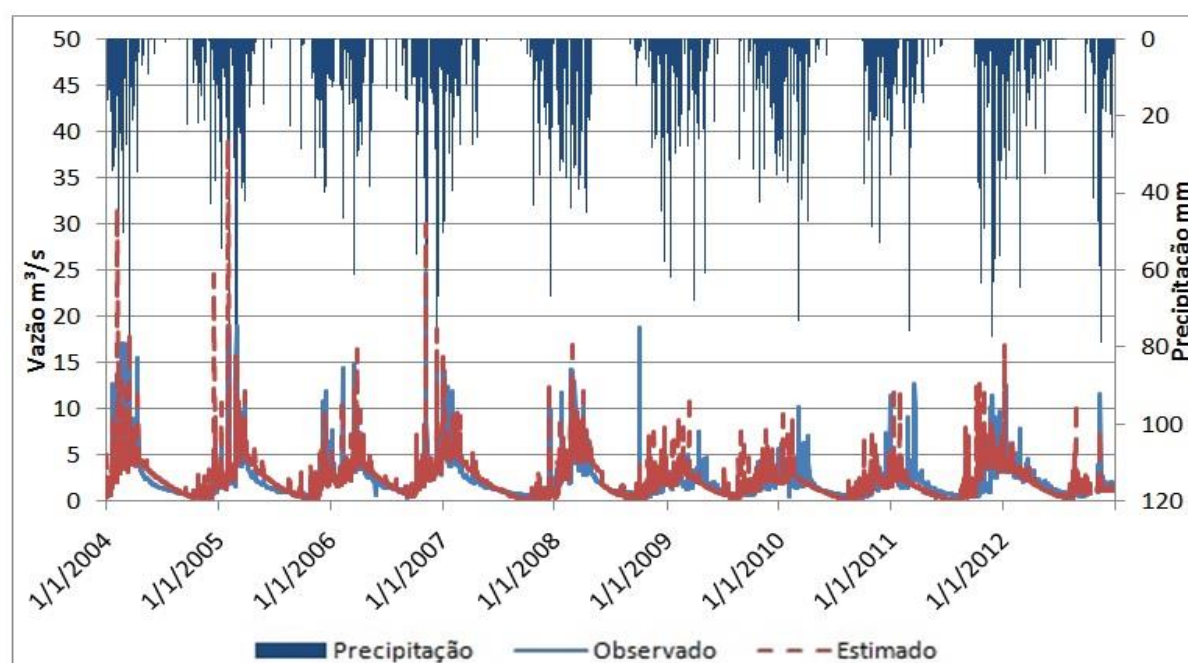


Figura 10 Comparação entre vazão simulada pelo modelo SWAT e a vazão observada diária após a calibração.

Após a etapa de calibração, é preciso testar o desempenho do modelo frente a uma série de dados que não tenham sido utilizados na calibração. Trata-se da validação do modelo, que tem o objetivo de avaliar a capacidade do SWAT em simular adequadamente as vazões da bacia estudada.



A validação do modelo SWAT calibrado para a bacia do ribeirão do Gama foi feita mensalmente e diariamente e durante os anos hidrológicos de 2013 a 2014. A validação alcançou os seguintes índices de desempenho: ENS=0.85 para modelagem mensal; ENS=0.57 para a diária. Os índices, mais uma vez, indicam que o SWAT foi capaz de simular adequadamente as vazões da bacia. Como se esperava, permaneceram problemas específicos na simulação de picos nos períodos chuvosos, mas o comportamento geral da modelagem pode ser considerado satisfatório. As figuras abaixo contêm os gráficos do período de validação (figura 11 e 12):

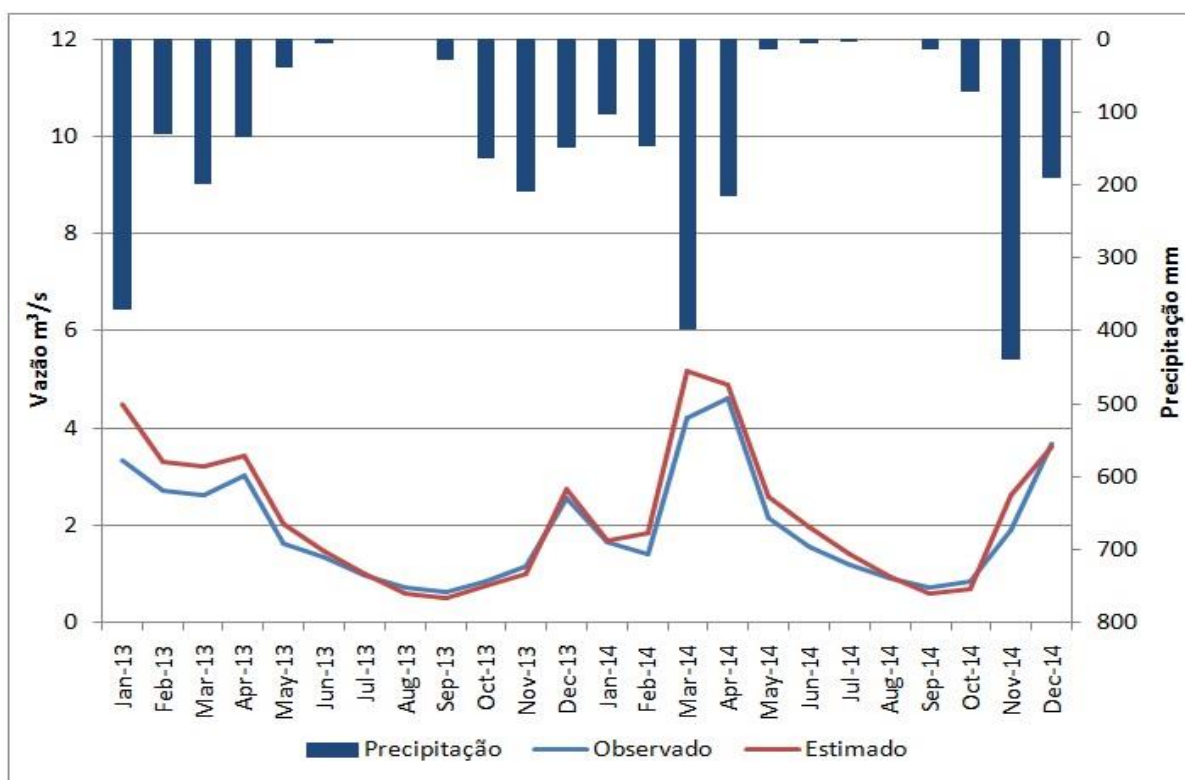


Figure 11 Validação mensal da vazão (2013-2014).



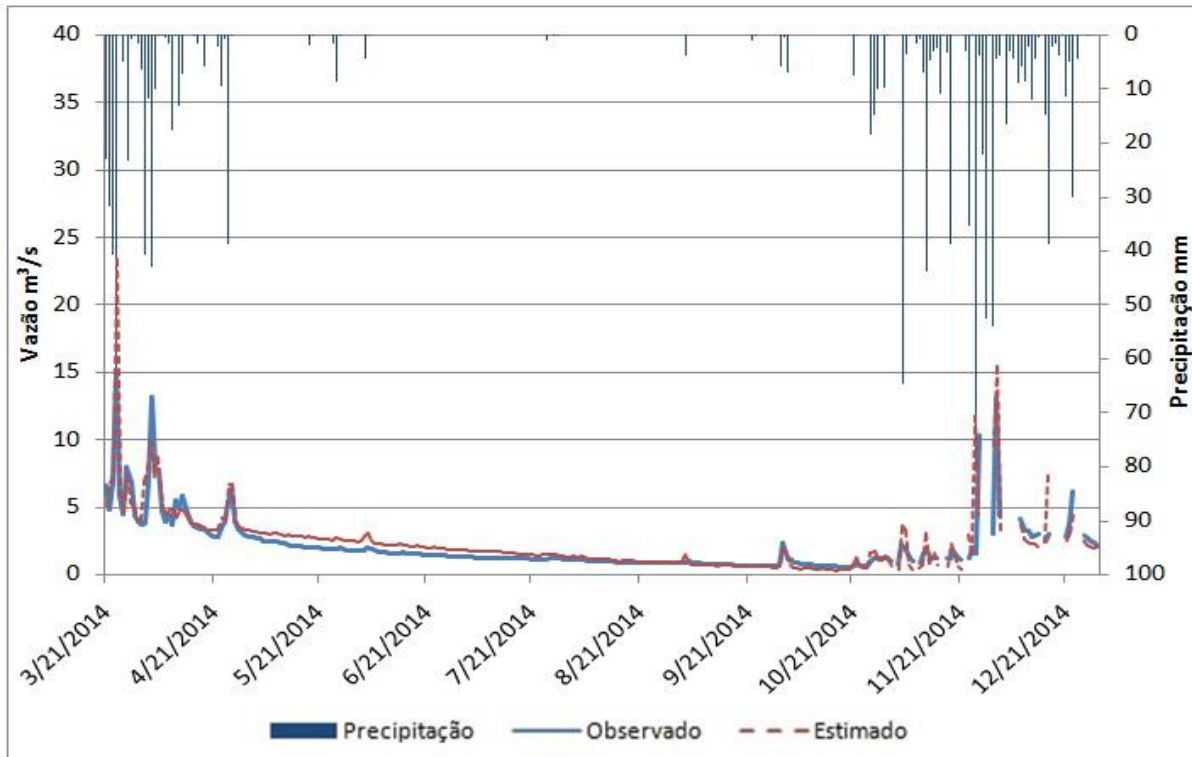


Figure 12 Validação diária da vazão (2013-2014).

De acordo com Neitsh et al., (2005), a fase terrestre do ciclo hidrológico simulado pelo modelo SWAT tem como base na equação do balanço hídrico, que é responsável por todo o restante que ocorre na bacia hidrográfica. O resultado para 2016 do balanço hídrico para o período de calibração apresentou os seguintes resultados (figura 13): 753,7 mm do total da chuva foi convertido em evapotranspiração (53,54%), 84,1 mm em escoamento superficial (5,9%), 137,06 mm em fluxo lateral (9,73%), 431,56 mm em água disponível para percolação (30,65%), 301,18 mm em fluxo de base (21,39%), 94,4 mm em ascensão capilar do aquífero raso (6,7%), e 21,58 para a recarga do aquífero (1,53%).

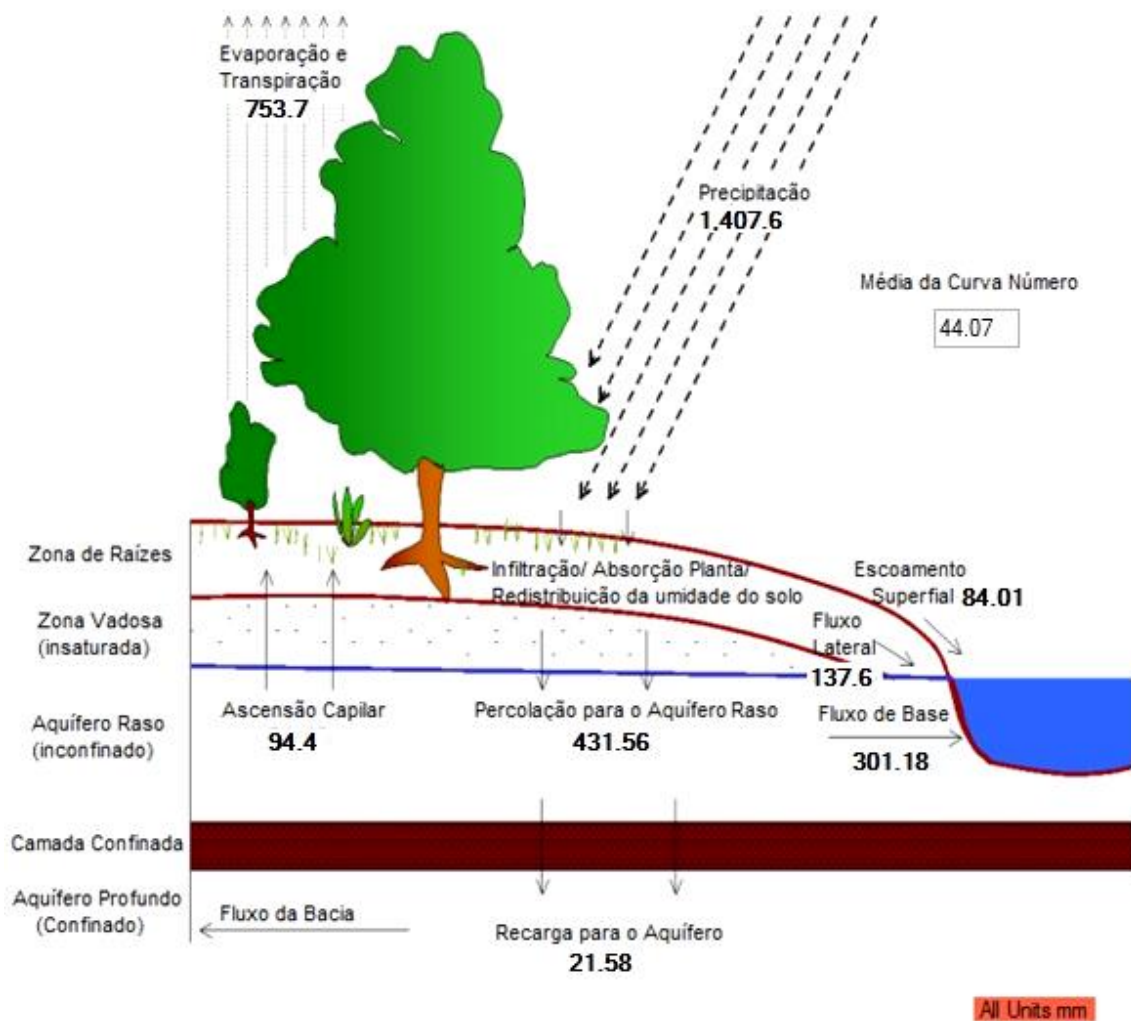


Figure 13 Balanço hídrico simulado pelo SWAT para a bacia do Gama, Distrito Federal (ano de 2016). Unidades em mm.

Já o resultado para 1953 do balanço hídrico para o período de calibração apresentou os seguintes resultados (figura 14): 493,4 mm do total da chuva foi convertido em evapotranspiração (35,1%), 21,3 mm em escoamento superficial (1,49%), 136,44mm em fluxo lateral (9,71%), 755,37 mm em água disponível para percolação (53,7%), 644,19 mm em fluxo de base (45,77%), 52,68 mm em ascensão capilar do aquífero raso (3,7%), e 37,77 para a recarga do aquífero (2,7%).

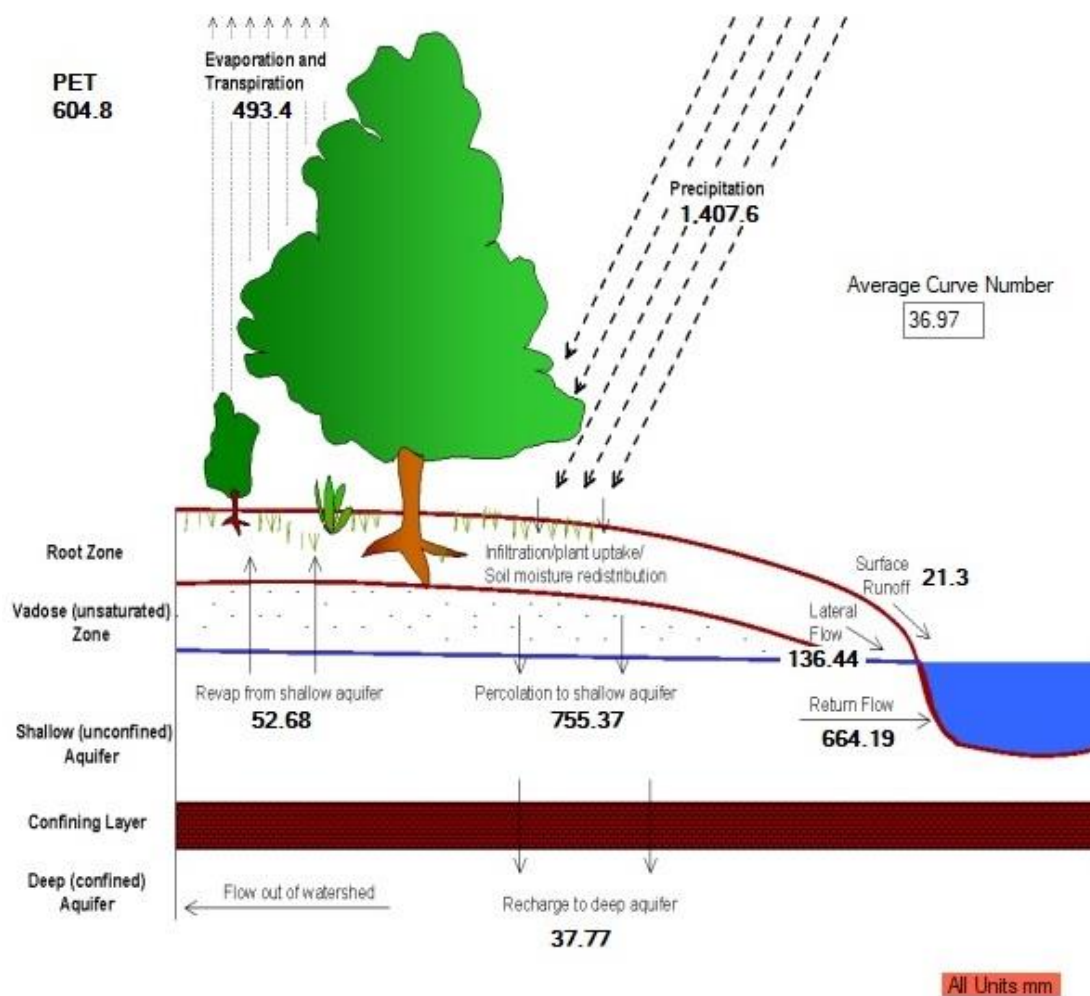


Figure 14 Balanço hídrico simulado pelo SWAT para a bacia do Gama, Distrito Federal (ano de 1953). Unidades em mm.

Segue abaixo a comparação dos valores do ciclo hidrológico de 1953 e 2016 com calibração (valores em mm):

Table 6 Valores de comparação de 1953 e 2016 do ciclo hidrológico calibrados (valores em mm).

Valores	1953	2016
Evapotranspiração	493,4	753,7
Escoamento superficial	21,3	84,1
Fluxo Lateral	136,44	137,06
Percolação	755,37	431,56
Fluxo de Base	644,19	301,18
Recarga de Aquífero	37,77	21,58

Ascensão Capilar	52,68	94,4
------------------	-------	------

Em trabalhos feitos com a utilização do SWAT no Distrito Federal, Castro (2013) encontrou que valores em torno de 56% do total precipitado é evapotranspirado na bacia do alto Jardim. Salles (2012), estudando a bacia do rio Pípiripau (DF), encontrou 49% do total evapotranspirado, enquanto Ferrigo (2014) também chegou ao mesmo valor de 49%. Neste trabalho, por sua vez, foi calculado que para a bacia do Gama, 53% do total precipitado é convertido em evapotranspiração no ano de 2016 e 35% no de 1953. Porém, como foi descrito na tabela 1, a média anual no cerrado de evapotranspiração é de cerca de 70%. Logo, é possível perceber que o modelo SWAT não consegue modelar devidamente a taxa de evaporação para os trabalhos feitos no cerrado até então. Porém em ambos os mapas, tanto de 2016 quanto de 1953, o valor de evaporação aumentou, o que resultou os dados de fluxo de base, percolação e aquífero do modelo.

Com relação aos valores de evapotranspiração do ano de 1953, os valores continuaram ainda muito baixos, cerca de 35%. Como o valor, mesmo após calibrado, continuou baixo, os valores de fluxo de base e aquífero continuaram elevados, pois o sistema continuou sobrecarregado com excesso de água no sistema. Ou seja, o modelo simulou de forma insatisfatória esse parâmetro para o ano de 1953.

O resultado do fluxo de base encontrado neste trabalho, para o ano de 2016, foi de 301,18 mm, ou seja, 21,3% do total precipitado, ficou um pouco abaixo do esperado, pois de acordo com trabalhos feitos por Siva e Oliveria (1999), Lima (2000) e Lima (2010), o fluxo de base é de cerca de 25%. Já para o ano de 1953 os valores continuaram altos, foi de 664.19 mm, 45% do total precipitado. Visto que os valores de evapotranspiração ficaram muito abaixo do esperado, os valores de percolação e fluxo de base ficaram elevados, por causa do excesso de água que ficou no sistema.

O valor da ascensão capilar simulado foi alto em comparação a outros trabalhos do DF, como o de Castro (2013) que encontrou um valor de 10,9 mm, Ferrigo (2014) com um valor de 27,93 mm. Neste estudo, para o ano de 2016, foi encontrado o valor de 94,4 mm de ascensão capilar, ou seja, 6,7% do total precipitado. Para o ano de 1953, foi de 52,68 mm, ou seja, 3,7%. Segundo Brady e Weil (2012), no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, cerca de 10% da água precipitada se converte em ascensão capilar.

Para o ano de 2016, o escoamento superficial, mesmo após a calibração, ficou um pouco elevado, cerca de 5,9% do total precipitado. Apesar de ter sido ajustado parâmetro CN2 (curva número para a condição antecedente II), de forma a diminuir o escoamento superficial e, conseqüentemente, aumentar a infiltração, e de também ter sido ajustado o parâmetros SURLAG (coeficiente de retardo do escoamento superficial), o modelo, ainda sim, apresentou um elevado valor de escoamento, pois, como demonstram trabalhos feitos por Siva e Oliveria (1999), Lima (2000), Lima (2010), Brady e Weil (2010) e Mesquita (2014), esse valor não deveria ultrapassar 3%. Porém houve uma grande melhora em relação ao escoamento superficial do ciclo hidrológico sem calibração, que era cerca de 12,2% do total precipitado.

Já para o ano de 1953, o valor do escoamento superficial caiu para cerca de 1,5%. Isso ocorreu pelo fato de que foi o usado a calibração de 2016, porém o valor do escoamento superficial já estava quase ajustado no ano de 1953, com cerca de 4,3%. Como foi preciso diminuir bastante o escoamento superficial em 2016 (para metade do valor), esse comportamento acabou refletindo no resultado do ciclo hidrológico de 1953, saindo de 4,3% para 1,5%.

## **Conclusão**

O SWAT não simulou adequadamente a vazão da bacia de acordo com os dados hidrológicos e fisiográficos definidos inicialmente, sendo necessária a calibração do modelo. Sem utilizar o recurso da calibração, o modelo apresenta uma clara tendência em superestimar as variáveis vazão nos períodos chuvosos e subestimá-las na época de estiagem.

Para a calibração, a análise de sensibilidade permitiu a identificação dos parâmetros mais significativos para a simulação da vazão com o modelo SWAT na bacia estudada, sendo eles: ESCO, GW\_DELAY e SOL\_AWC.

O período de calibração do modelo resultou em um ENS de 0,86 para valores mensais, e um ENS de 0,53 para valores diários. Para o período de validação do modelo resultou em um ENS de 0,85 para valores mensais, e um ENS de 0,57 para valores diários. Todos os valores apresentaram resultados variando de satisfatório a muito bom.

Considerando os objetivos expostos no início do trabalho, apesar de uma boa calibração do ano de 2016, a utilização da calibração feita de 2016 não se adequou de forma satisfatória para o ano de 1953. Os maiores problemas encontrados em

ambos os anos no ciclo hidrológico foram a evapotranspiração e o escoamento superficial, o que gerou problema nos valores dos demais parâmetros.

## **Bibliografia**

ABBASPOUR, K.C. SWAT-CUP2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs – a user manual. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 2015.

ALENCOÃO A. M. P.; PACHECO F. A. L. Estimativa de parâmetros hidrológicos: Dois modelos, um caso de estudo. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, V.31, 2015.

ARNOLD, J. G. KINITY, J. R. SRINIVASAN, R. WILLIAMS, J. R., HANEY, E.B. NEITSCH, S. L. (2012b) Input/Output Documentation Version 2012. Texas Water Resources Institute.

BARBOSA, I. O. Relações Pedomorfogeológicas nas Chapadas elevadas do Distrito Federal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2009, v.33, n.5, p.1373-1383, set./out.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elements of the Nature and Properties of Soils 3rd Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2010.

BRANCO, N. Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta. Santa Maria – Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 1998, 118p.

CASTRO, K, B. Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do Cerrado intensamente monitorada. 2013. xix, 122 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências)—Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1978). Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. Boletim Técnico nº 53.

FERREIRA, R. Análise da produção de carga líquida e sólida na bacia do ribeirão do Gama- DF através do modelo SWAT. 2016. xviii, 126 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Universidade de Brasília, Brasília.

FERRIGO, S. MINOTTI, R.; KOIDE S. Utilização do modelo SWAT na estimativa de produção de sedimentos decorrentes de diferentes cenários de uso do solo na bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

FERRIGO, S.; MINOTI, R.T.; ROIG, H.; KOIDE, S. Análise do modelo SWAT na simulação de produção de sedimentos quando calibrado unicamente para vazão em uma pequena bacia hidrográfica rural. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Fozdo Iguaçu, 2012.

FERRIGO, S. Análise de consistência dos parâmetros do modelo swat obtidos por calibração automática – estudo de caso da bacia do lago descoberto - DF. 2014. 147 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES;R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LIMA, J.E.F.W. Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado. 312 f. Tese de Doutorado, Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2010

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; STRAUCH, M.; LORZ, C. Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma cerrado.

In. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17 a 22 de novembro de 2013, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 8 p.

KUWAJIMA, J.I; Análise do modelo SWAT como ferramenta de prevenção e de estimativa de assoreamento no reservatório do Lobo (Itirapina/Brotas/SP). Dissertação Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

MESQUITA, M.; Mensuração de Perdas de Sedimentos por Escoamento Superficial em Encostas, em Diferentes Usos da Terra no Bioma Cerrado: Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama/DF. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

NEITSCH, S. L; ARNOLD, J. G; WILLIAMS, J. R. Soil and water assessment tool. Input/output file documentation: Version 2005. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, EUA. 2005b.

NOVAES PINTO, M. S. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. Revista Brasileira de Geografia. Vol.49. p. 9-26, 1987.

NOVAES PINTO, M. S. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. Revista Brasileira de Geografia. 1987, Vol.49. p. 9-26. NOVAES PINTO, M. Caracterização Geomorfológica do Distrito Federal. In:Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 285-320, 1993.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia - SC. Rev. Árvore [online], vol.37, n.5, pp.859-869, 2013

RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S.B.D., CORRÊA. G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes.Viçosa: NEPUT, p.304, 1995

RODOLFO JUNIOR, F. ; ARAÚJO, L.G. ; SOUZA, R.Q. ; BATISTA, F.P.S. ; OLIVEIRA, D.N.S. ; LACERDA, M.P.C. . Relações Solo-Paisagem em Topossequências na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. Nativa , v. 3, p. 27-35, 2015.



SALLES, L. Calibração e validação do modelo Swat para a predição de vazões na Bacia do Ribeirão Pipiripau. 2012. xv, 114 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SARMENTO, L. Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas. 2010. 241 f. Tese de Doutorado. Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2010.

SARTORI, A. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Engenharia Civil, Universidade de Campinas. 2004, p.159.

SILVA, C.L e OLIVEIRA, C.A.S (1999). Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in central Brazil. Revista brasileira de ciência do solo. 23(3), 695-701

SOUZA, R. M.; SANTOS, I.; KOBAYAMA, M. O modelo Swat como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Alto Rio Negro. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande, MS. Anais, Porto Alegre: ABRH.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion topography. Geological Society of America Bulletin, 1952, v. 63, n. 11, p. 1117- 1142.

STRAUCH, M., Lima, J.E.F.W., Volk, M., Lorz, C., Makeschin, F., 2013. The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. Journal of Environmental Management v.127, p.24- 36.

SRINIVASAN, R., and J. G. ARNOLD. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. Water Resour. Bull, 1994, 30(3): 453- 462.